

学校编码: 10384

分类号_____密级_____

学号: 23120101152967

UDC_____

廈門大學

硕 士 学 位 论 文

掺钕有机聚合物光波导放大器的特性研究与制备

Study and Experimental on Neodymium-doped Polymer
Optical Waveguide Amplifiers

汪建斌

指导教师姓名: 张丹 副教授

专 业 名 称: 电子与通信工程

论文提交日期: 2013 年 月

论文答辩日期: 2013 年 月

学位授予日期: 2013 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2013 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

（ ） 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，
于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

（ ） 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

在光通信器件中, 稀土掺杂的光波导放大器是弥补短距离光通信网络中信号损耗的重要器件。传统的稀土掺杂的无机晶体、玻璃等固体材料存在着成本高、散热性差、难以集成等诸多问题, 在光波导器件的应用上受到了一定的限制。而有机聚合物材料由于低成本、易集成等优良特性, 有望作为光波导放大器的新一代芯层材料。本论文主要研究掺钕有机聚合物光波导放大器在波长为 1060nm 的信号光的增益特性, 为以后的研究提供参考与借鉴。为解决稀土离子与有机材料相溶性问题, 制备了油酸修饰的 $\text{LaF}_3\text{:Nd}$ 纳米颗粒和含钕的三元配合物 $[\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2]$, 并将其分别掺杂聚合物 SU-8 2005 光刻胶中, 对材料的吸收、发射、成膜等性能进行了表征, 采用原子速率方程与光功率传输方程进行了掺钕聚合物波导放大器的增益性能模拟, 并进一步研究了器件的制备工艺。

本论文完成的主要工作如下:

1. 用油酸修饰法合成了 $\text{LaF}_3\text{:Nd}$ 纳米颗粒, 利用透射电子显微镜对其分散性和形貌进行了表征, 将材料掺杂到聚合物 SU-8 中用于制备光波导放大器。对纳米颗粒材料的吸收光谱和荧光发射谱进行了测量, 观测到钕离子从基态能级到各激发态能级吸收跃迁对应的特征吸收峰; 在 1060nm 波长处得到较强的光致发光光谱, 荧光半高宽为 45nm。

2. 制备了三元钕配合物 $[\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2]$, 将其掺杂到聚合物 SU-8 中, 对配体材料和掺杂后的薄膜的吸收光谱和荧光发射谱进行了测量, 在 1060nm 波长处光致发光光谱的荧光半高宽为 25nm; 采用 Judd-Ofelt 理论计算, 得到 $\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2/\text{SU-8}$ 材料中 Nd^{3+} 离子的亚稳态能级 $^4F_{3/2}$ 辐射寿命为 255.2 μs ; 根据速率方程和功率传输方程, 理论计算了在 800nm 波长泵浦光激发下, $\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2/\text{SU-8}$ 作为芯层材料制备的光波导放大器的增益特性, 计算表明, 当泵浦光功率为 50mW, 信号光功率为 0.1mW 时, Nd^{3+} 掺杂浓度为 $3 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 下, 在 3cm 长的器件上可获得 5.25dB 的增益。最后详细探讨了掺杂浓度、信号光发射截面、泵浦光吸收截面、重叠积分因子、亚稳态能级寿命对放大器增益特性的影响。

3. 利用旋涂、蒸铝、光刻、反应离子刻蚀等半导体工艺制备了脊型和嵌入

型两种聚合物掺钕光波导放大器；利用扫描电子显微镜对其形貌进行表征，得到了较好的波导形状；搭建了光波导耦合测试系统，对制作的光波导进行测试，在接收端得到光斑，说明制作的光波导具有良好的通光效果。

关键词： Nd^{3+} 离子；光波导放大器；有机聚合物材料

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

Rare-earth-doped optical waveguide amplifier is an important optical device for making up the signal loss in optical communication device. The traditional solid materials like rare-earth-doped inorganic crystals and glasses are restricted applications in optical waveguide device with the high cost, poor heat dispersion and hard to be integrated. However, Organic materials have potential to be the core material in optical waveguide amplifier due to their properties such as easy fabrication, low cost and compatible with silicon substrate. In this article, to overcome the insolubility problem between inorganic rare-earth salts in organic material, we fabricated the $\text{LaF}_3\text{:Nd}$ nanoparticles and ternary complexes of $\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2$, and doped them into SU-8 polymer. Their optical properties were observed. The rate equations and power propagation equations was used to simulate the Nd^{3+} -doped polymer waveguide amplifier's performance of the gain. And we also done much work in the fabrication of the waveguide.

The main tasks as follows:

1. We had synthesized the $\text{LaF}_3\text{:Nd}$ nanoparticles using the oleic Acid-modified method. Its dispersion and morphology were characterized by transmission electron microscopy. The nanoparticles were doped into the SU-8 for core material. We got the absorption spectrum and near-infrared photoluminescence spectrum of the powder. The full width at half maximum(FWHM) of the emission spectrum is 45nm at 1060nm.

2. The ternary neodymium complex $[\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2]$ was prepared, and was doped into the SU-8. The absorption and photoluminescence spectra of the active material was measured. The FWHM of the emission spectrum is 25nm at 1065nm. The Judd-Ofelt theory is used to analyses the sample of $\text{Nd}(\text{TTA})_3(\text{TPPO})_2/\text{SU-8}$, the calculated radiative lifetime of metastable state $^4F_{3/2}$ of Nd^{3+} is 255.2 μs . We used the fundamental rate equations and power propagation equations to simulate the gain factors of the active material excited at 800nm, the gain is 5.25dB on a 3cm long waveguide. The relationships between the gain and Nd^{3+} concentration , pump and signal absorption cross-sections, overlapping factor, metastable state lifetime was analysed.

3. The ridge and embedded waveguide amplifier had been fabricated using

spin-coating, steaming aluminum, photolithography, reactive ion etching method(RIE). The shape of waveguides showed smooth under scanning electron microscopy(SEM). A coupling test system was constructed for optical waveguide. In receiving end, A spot was obtained after the light was coupled into the waveguide, that means the waveguide have excellent properties.

Keywords: Nd³⁺ ions; optical waveguide amplifier; organic polymer

目录

第一章 绪论	1
1.1 光放大器技术	1
1.1.1 光放大器技术的背景及研究意义	1
1.1.2 光放大器的分类	2
1.2 光波导放大器的分类	4
1.2.1 按掺杂离子分类	4
1.2.2 按掺杂基质来进行分类	5
1.3 掺铒光波导放大器的研究进展	5
1.4 本论文的主要工作内容	8
第二章 掺铒有机光波导放大器的理论分析	10
2.1 掺铒波导放大器的放大原理与结构	10
2.1.1 掺铒波导放大器的放大原理	10
2.1.2 掺铒波导放大器的结构	11
2.2 Judd—Ofelt 理论	12
2.3 光波导放大器的理论模型	14
2.3.1 速率方程	14
2.3.2 光功率传输方程	16
2.3.3 增益特性的计算	16
2.4 影响掺铒光波导放大器的主要因素	17
2.5 小结	19
第三章 掺 LaF₃:Nd 纳米颗粒的聚合物材料 SU-8 的制备与表征	20
3.1 表面油酸修饰的 LaF₃:Nd 纳米颗粒掺杂 SU-8 的制备过程	20
3.1.1 表面油酸修饰的 LaF ₃ :Nd 纳米颗粒材料的合成	20
3.1.2 掺纳米颗粒的 SU-8 的制备	22
3.2 纳米颗粒材料的表征	22
3.2.1 吸收光谱	22
3.2.2 荧光光谱	23

3.2.3 纳米颗粒的形貌表征.....	24
3.3 掺杂纳米颗粒的 SU-8 聚合物的成膜性.....	25
3.4 小结	26
第四章 掺 Nd(TTA)₃(TPPO)₂ 的聚合物材料 SU-8 的制备与理论模拟	27
4.1 Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ 配合物的合成	27
4.1.1 实验试剂与设备.....	27
4.1.2 Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ 配合物的合成.....	28
4.1.3 掺 Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ 的 SU-8 聚合物的制备	28
4.1.4 掺杂浓度的计算.....	28
4.2 特性分析	29
4.2.1 吸收光谱和荧光光谱.....	29
4.2.2 吸收截面和发射截面.....	31
4.2.3 掺 Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ 的 SU-8 薄膜的折射率	32
4.3 增益理论计算	33
4.3.1 J-O 理论计算.....	33
4.3.2 利用速率方程计算增益.....	35
4.4 小结	39
第五章 掺钕有机聚合物光波导放大器的制备与测试	41
5.1 光波导的分类	41
5.2 聚合物光波导放大器制备工艺流程	42
5.2.1 脊型波导制备流程.....	42
5.2.2 嵌入型波导制备流程.....	43
5.3 聚合物光波导放大器的实验流程	45
5.4 波导的形貌	47
5.5 光波导测试	48
5.5.1 耦合测试系统.....	48
5.5.2 通光测试.....	49
5.6 小结	51

第六章 总结与展望	522
6.1 结论	522
6.2 展望	53
参考文献	54
攻读硕士期间发表的论文	61
致谢	62

厦门大学博硕士论文摘要库

CONTENTS

Chapter 1 Introduction.....	1
1.1 The tchnology of optical amplifier.....	1
1.1.1 Background and significance of t The tchnology of optical amplifier ...	1
1.1.2 Classification of the optical amplifier	2
1.2 Classification of optical waveguide amplifier	4
1.2.1 Classification by different doping ion.....	4
1.2.2 Classification by different doping matrix	5
1.3 Recsearch progress of neodymium doped waveguide amplifier	5
1.4 Main contents	8
Chapter 2 Theoretical analysis of neodymium doped waveguide amplifier	10
2.1 Amplification principle and structure of neodymium doped waveguide amplifier.....	10
2.1.1 Amplification principle of neodymium doped waveguide amplifier	10
2.1.2 structure of neodymium doped waveguide amplifier	11
2.2 Judd—Ofelt theory	12
2.3 Theoretical model of optical waveguide amplifier	14
2.3.1 Rate equation	14
2.3.2 Power propagation equation	16
2.3.3 Simulate the gain factors.....	16
2.4 Main factors of impacting the performance of neodymium doped waveguide amplifier.....	17
2.5 Conclusion	19
Chapter 3 Fabrication and characterization of the LaF₃:Nd nanoparticles doped SU-8 polymer	20
3.1 Fabrication process of LaF₃:Nd nanoparticles using the oleic Acid-modified method doped SU-8	20
3.1.1 Fabrication of LaF ₃ :Nd nanoparticles using the oleic Acid-modified	

method.....	20
3.1.2 Synthesis of LaF ₃ :Nd nanoparticles doped SU-8	22
3.2 Characterization of nanoparticles	22
3.2.1 Absorption spectrum	22
3.2.2 Fluorescence spectrum.....	23
3.2.3 Morphological characterization of nanoparticles.....	24
3.3 Properties of film of LaF₃:Nd nanoparticles doped Su-8	25
3.4 Conclusion	26
Chapter 4 Fabrication and simulate of Nd(TTA)₃(TPPO)₂ doped	
SU-8 polymer	27
4.1 Synthesis of Nd(TTA)₃(TPPO)₂ complex	27
4.1.1 Reagents and Equipment.....	27
4.1.2 Synthesis of Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ complex	28
4.1.3 Fabrication of Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ doped SU-8 polymer	28
4.1.4 Caculate concentration of neodymium	28
4.2 Analysis of spectrum	29
4.2.1 Absorption and Fluorescence spectrum	29
4.2.2 Absorption cross-section and emission cross-section	31
4.2.3 Refractive index of Nd(TTA) ₃ (TPPO) ₂ doped SU-8 film	32
4.3 Simulate gain factors	33
4.3.1 Calculation by J-O theory	33
4.3.2 Gain calculation by rate equation	35
4.4 Conclusion	39
Chapter 5 Preparation and test of Nd-doped polymer waveguide	
amplifier	41
5.1 Classification of optical waveguide.....	41
5.2 Preparation process of polymer waveguide amplifier	42
5.2.1 Preparation process of ridge waveguide	42
5.2.2 Preparation process of embedded waveguide	43
5.3 Experimental process of polymer waveguide amplifier	45
5.4 Morphology of waveguide	47

5.5 Waveguide testing	48
5.5.1 Coupling test system	48
5.5.2 Light path test	49
5.6 Conclusion	51
Chapter 6 Summary and Outlook.....	52
6.1 Conclusion	52
6.2 Future work.....	53
References	54
Published Paper List.....	61
Acknowledgement.....	62

厦门大学博硕士论文摘要库

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”. Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库